



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO USO DE ESTERCO
OVINO COM ADIÇÃO DE DIFERENTES FRAÇÕES DE INÓCULO**

JOÃO MATEUS DA ABADIA VIEIRA

Brasília - DF
Dezembro/2019

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO USO DE ESTERCO
OVINO COM ADIÇÃO DE DIFERENTES FRAÇÕES DE INÓCULO**

JOÃO MATEUS DA ABADIA VIEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Agronomia e Medicina
Veterinária da Universidade de Brasília –
UnB, como parte das exigências do curso de
Graduação em Agronomia, para a obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. SAMUEL MARTIN

Brasília - DF
Dezembro/2019

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO USO DE ESTERCO
OVINO COM ADIÇÃO DE DIFERENTES FRAÇÕES DE INÓCULO**

JOÃO MATEUS DA ABADIA VIEIRA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO À FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB, COMO PARTE DAS EXIGÊNCIAS DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ENGENHEIRO AGRÔNOMO.

APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM 06/12/2019

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Samuel Martin
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária
Universidade de Brasília
Orientador

Prof. Msc. Antonio Carlos Félix Ribeiro
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária
Universidade de Brasília
Examinador

Prof. Dr. Cássio José da Silva
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária
Universidade de Brasília
Examinador

FICHA CATALOGRÁFICA

VIEIRA, JOÃO MATEUS DA ABADIA

Produção de biogás a partir do uso de esterco ovino com adição de diferentes frações de inóculo. / João Mateus da Abadia Vieira; orientação de Samuel Martin - Brasília, 2019. 32f.

Monografia de Graduação em Agronomia - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 2019.

1. Produção de biogás 2. Esterco ovino 3. Inóculo 4. Biodigestão

II Martin, S. II Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VIEIRA, J. M. A. Produção de biogás a partir do uso de esterco ovino com adição de diferentes frações de inóculo. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2019, 32f. Monografia.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do Autor: JOÃO MATEUS DA ABADIA VIEIRA

Título do Trabalho de Conclusão de Curso: Produção de biogás a partir do uso de esterco ovino com adição de diferentes frações de inóculo.

Grau: 3º **Ano:** 2019

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

JOÃO MATEUS DA ABADIA VIEIRA

CEP: 70.908-022, Asa Norte, Brasília - DF

E-mail: mateusvieira255@hotmail.com

(61) 99935-3074

*“Aqueles que semeiam com lágrimas, com
canto de alegria colherão” Salmos 126:5*

DEDICATÓRIA

“Dedico este trabalho aos meus pais Nilson Vieira Júnior e Vandelina da Abadia Garcêz (in memoriam), por tudo o que fizeram por mim ao longo da minha vida. Obrigado por me ensinarem a ser sempre humilde, honesto, dedicado e esforçado”.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sempre abençoar a minha vida e iluminar meus caminhos. Aos meus pais, Nilson Vieira Junior por todo o apoio e ensinamentos, e a minha mãe Vandelina da Abadia Garcêz, que infelizmente não poderá prestigiar em momento da minha vida, mas foi minha maior inspiração e motivação por eu estar aqui, sei que de onde estiver estará feliz e torcendo por mim.

A minha namorada Andressa, pelo apoio, incentivo e compreensão nesse período da graduação.

Ao meu orientador Samuel Martin, pela confiança, atenção e paciência no desenvolvimento de todos os experimentos e trabalhos realizados.

A todos do Laboratorio de Nutrição Animal - FAL/UnB, pela disponibilidade de equipamentos para realização de algumas análises.

A toda equipe do Centro de Manejo de Ovinos – CMO/UnB, por fornecer o esterco ovino para utilização no experimento.

Aos verdadeiros amigos que conquistei durante a graduação e que vou levar para toda vida, pois foram de grande importância para minha vida pessoal, acadêmica e profissional.

A todos os familiares que de alguma forma fizeram parte de minha trajetória e formação, em especial a minha tia Nélia, pois foi a pessoa que me orientou e me ajudou muito para que eu pudesse ingressar na Universidade.

Aos professores pelos ensinamentos, experiências e motivações.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Digestão anaeróbia e seu potencial	3
2.2 Etapas da digestão anaeróbia	4
2.3 Fatores que influenciam a digestão anaeróbia	6
2.4 Abastecimento de digestores	7
2.5 Características do biogás	7
2.6 Uso do esterco ovino em biodigestão	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1 Local e tratamentos	9
3.2 Sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV).....	11
3.3 Potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE).....	12
3.4 Análise da produção do biogás	13
3.5 Análise da qualidade do biogás	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1 Ensaios e composição quantitativa dos tratamentos	14
4.2 Resultados da caracterização dos tratamentos e do controle	15
4.3 Volume de biogás produzido	16
4.4 Qualidade do biogás produzido	17
5. CONCLUSÕES	19
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

RESUMO

Com a realização deste estudo objetivou-se avaliar a produção de biogás com uso de esterco ovino e utilizando diferentes proporções de inóculo nos reatores. O experimento foi realizado no Laboratório de Instalações Agropecuárias e Ambiente (LIAA) da Universidade de Brasília. Os tratamentos continham diferentes porcentagens de inóculo, sendo de 10, 20 e 30%, além de um biorreator contendo apenas o inóculo. Cada biorreator tinha capacidade total de 2.000 mL e com volume útil de 1.000 mL, contendo teores de sólidos totais entre 7 e 9% em todos os tratamentos, conforme recomenda literatura. Foram feitas análises do potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), sólidos totais (ST), fixos (SF) e voláteis (SV). Mediu-se o volume de biogás produzido para cada tratamento e foi feita a análise qualitativa do biogás. Observou-se redução nos teores de ST e SV, além de neutralização do pH no biorreator, resultados estes esperados, em função do processo de biodigestão. A produção total de biogás obtida foi de 313,1; 326,4 e 322,7 l_N/kg ST adicionado para os tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente. Em relação aos sólidos voláteis, a produção total de biogás foi de 379,5; 395,6 e 391,1 l_N/kg SV adicionado para os tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente. A concentração final de metano variou entre 60 a 80%, para todos os tratamentos. Conclui-se que a produção final de biogás, nos diferentes tratamentos, não apresentou diferença expressiva com a variação da quantidade de inóculo nos biorreatores, tendo eles quantidades de produção bem próximas. Observou-se uma mudança no comportamento na curva de produção de biogás, sendo que os tratamentos com 20 e 30% de inóculo tiveram um pico de produção mais rápido que o tratamento com 10 % de inóculo. Portanto, a utilização de 20 e 30% de inóculo demonstraram ser uma alternativa eficiente para o tratamento de dejetos de ovinos, pois proporcionaram maior velocidade de partida em comparação a utilização de 10% de inóculo.

Palavras-chave: Biodigestão, biodigestor, metano

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the production of biogas using sheep manure and using different inoculum proportions in the reactors. The experiment was conducted at Laboratório de “Instalações Agropecuárias e Ambiente” (LIAA) at the University of Brasília. The treatments contained different percentages of inoculum, with 10, 20 and 30%, and a bioreactor containing only the inoculum. Each bioreactor had a total capacity of 2,000 mL and a useful volume of 1,000 mL containing 7 to 9% total solids in all treatments, as recommended in the literature. Analyses were made of potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), sólidos totais (ST), fixos (SF) e voláteis (SV). The volume of biogas produced for each treatment was measured and a qualitative biogas analysis was performed. Reductions in ST and SV contents were observed, as well as pH neutralization in the bioreactor. These results were expected because of the digestion process. The total biogas production obtained was 313.1; 326.4 and 322.7 l_N / kg ST added for treatments 1, 2 and 3, respectively. Regarding volatile solids, total biogas production was 379.5; 395.6 and 391.1 l_N / kg SV added for treatments 1, 2 and 3, respectively. The final methane concentration ranged from 60 to 80% for all treatments. It was concluded that the final production of biogas, in the different treatments, did not present significant difference with the variation of the inoculum quantity in the bioreactors, having very similar production quantities. There was a change in behavior in biogas production curve, and the treatment with 20% and 30% inoculum production peaked faster than the treatment with 10% inoculum. Therefore, the use of 20% and 30% inoculum proved to be an efficient alternative for the treatment of sheep excrement, because provided a higher starting rate compared to the 10% inoculum utilization.

Keyword: Biodigestion, biodigester, methane

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

As mudanças climáticas ocorridas estão sendo bastante discutidas nas últimas décadas, por ser um dos graves problemas ambientais. No último século registrou-se um aumento de cerca de 1° C na temperatura média da Terra. Estudos mostram que um dos principais motivos desta elevação da temperatura é causado pela intensificação da emissão dos gases de efeito estufa (GEE), que, por sua vez, está relacionada ao aumento da concentração atmosférica de determinados gases, principalmente o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) (OLIVEIRA, 2006).

Atualmente, tem-se observado que com o passar dos anos a busca por novas fontes de energia tem aumentado, tendo em vista que as fontes energéticas mais utilizadas no mundo são as não renováveis. Neste contexto, temos como alternativa a utilização de biodigestores, equipamento utilizado para fermentação de compostos orgânicos em ambiente fechado sem a presença de oxigênio, tendo como produto final o biogás (combustível) e o biofertilizante (LIMA JR, 2018). A digestão anaeróbia de resíduos orgânicos é um processo bioquímico, onde se utiliza microrganismos para transformar compostos orgânicos complexos em outras substâncias mais simples, de acordo com MAGALHÃES (1986) e NOGUEIRA (1992). O processo fermentativo é realizado por bactérias anaeróbias e um dos produtos obtidos é uma mistura gasosa, composta basicamente por metano (50 a 75% em volume) e gás carbônico (25 a 45% em volume), além de outros gases (em torno de 1%). De uma maneira geral, o processo de digestão anaeróbia ocorre em 4 etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

O uso de biodigestores em propriedades rurais é uma alternativa para diminuir impactos ambientais e também os custos de produção, pois o produtor terá o biogás como fonte de energia para cocção e geração de energia elétrica, e o biofertilizante estabilizado, o qual é pouco agressivo ao meio ambiente, podendo ser utilizado como adubo nas lavouras e pastagens. Além de tudo, o acondicionamento dos resíduos em local apropriado reduz a poluição do solo e dos cursos d'água, reduzindo também odores causados pelos dejetos.

Os ruminantes em geral se alimentam de grandes quantidades de alimento volumoso que, sendo responsável pela geração de fezes com maiores quantidades de componentes fibrosos, acarretam maior lentidão na produção de biogás, em que provavelmente a eficiência do processo de biodigestão será menor (ORRICO JR, 2010).

Para que se tenha sucesso no uso de biodigestores é preciso ter vários cuidados no

seu manuseio. Diversos fatores interferem no processo e devem ser analisados no início de operação dos sistemas, tais como temperatura, pH, teores de sólidos e tipos de substrato. Em sistemas de digestão anaeróbia, os dejetos de animais ruminantes proporcionam velocidade de partida e produção de biogás mais rápidas, comparados a resíduos de animais não ruminantes, devido a presença de grandes quantidades de microrganismos anaeróbios no trato digestivo desses animais, onde são eliminados junto com as fezes (STEIL, 2002). Portanto, o uso de inoculo em biodigestores mostra-se como uma alternativa favorável para a digestão anaeróbia de resíduos. Porém, é importante utilizar concentrações adequadas para que não tenha influência negativa na produção de biogás e no processo como um todo (LUCAS JR., 1994).

A utilização de inóculo visa acelerar a velocidade de partida e de produção, possibilitando geração de biogás e biofertilizante em um menor período de tempo. Aspectos como quantidade e qualidade de inóculo podem interferir na velocidade de partida dos biodigestores, onde deve-se analisar cada produto residual e adaptá-lo, aumentando gradualmente as concentrações de inóculo (LUCAS JR, 1994).

O biogás é um combustível gasoso com um conteúdo energético elevado semelhante ao gás natural, composto, principalmente, por hidrocarbonetos de cadeia curta e linear. Pode ser utilizado para a geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em uma propriedade rural, contribuindo para a redução dos custos de produção. No Brasil, os biodigestores rurais vêm sendo utilizados, principalmente, para saneamento rural, tendo como subprodutos o biogás e o biofertilizante (LUCAS JR., 2006).

A criação de ovinos no Brasil ocorre, principalmente de forma extensiva ou semi-extensiva. A criação de animais confinados ou semi-confinados abrange uma série de técnicas e cuidados para manter as condições de saúde dos animais. Práticas de limpeza, desinfecção e higiene são fundamentais na criação desses animais. Para esses tipos de estabelecimentos o esterco deve ser retirado periodicamente dos estábulos, e, normalmente é colocado em esterqueira, local de armazenamento adequado, porém ao ar livre, onde libera diversos gases de efeito estufa, podendo contribuir com o aumento e proliferação de moscas e doenças e fortes odores.

Neste contexto, objetivou-se com este estudo avaliar a produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de esterco ovino, com diferentes proporções de inóculo, além de analisar algumas características do efluente após o processo fermentativo e a qualidade do biogás.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Digestão anaeróbia e seu potencial

A digestão anaeróbia consiste na fermentação de material orgânico com ausência de oxigênio, através de bactérias anaeróbias que sintetizam a matéria orgânica transformando em dois principais componentes do biogás: CH₄ e CO₂.

Com a elevada demanda por proteína de origem animal, tende-se a aumentar o número de animais nas propriedades rurais, principalmente em sistemas de confinamento e semiconfinamento, e, por consequência, o aumento da produção de dejetos. Estes devem ser acondicionados de maneira adequada, de forma ambientalmente correta e economicamente viável. Sendo assim, uma alternativa para os resíduos gerados é o seu uso na produção de energia, através da implantação de biodigestores. O princípio de funcionamento consiste na digestão anaeróbia.

O metano, principal componente do biogás, não tem cheiro, cor ou sabor, porém os outros gases presentes conferem ao gás odores desagradáveis. O poder calorífico do biogás é de 5000 a 6500 kcal/m³, equivalente a: 0,55 L de óleo diesel, 0,45 L de gás de cozinha, ou 1,5 kg de lenha (QUADROS, 2007)

A digestão anaeróbia é uma alternativa promissora para o tratamento dos resíduos oriundos das atividades pecuaristas, promovendo benefícios para o meio ambiente e para a situação econômico do produtor. Os resíduos quando não são acondicionados em local correto apresentam alta capacidade poluidora, podendo causar impactos ao meio ambiente e riscos à saúde humana (LIMA JR, 2018).

No cenário mundial, a comunidade científica e população têm discutido a mudança do modelo energético mundial, onde prevalece o uso de energia fóssil e nuclear, sendo que deve-se incluir sistemas de energias renováveis. O debate internacional está pautado pela necessidade de práticas sustentáveis de aproveitamento dos serviços da natureza e de medidas para conter as mudanças climáticas globais. Uma alternativa para reduzir a emissão de gases de efeito estufa é o uso de biodigestores, onde este contribui para integração das atividades agropecuárias, obtendo duas bases para o desenvolvimento sustentável: energia renovável e adubo orgânico (QUADROS, 2007).

Segundo ARRUDA (2004), os sistemas de tratamentos anaeróbios têm-se como produtos finais o biogás (70% a 90% do material orgânico biodegradável), a biomassa microbiana (5% a 15% do material orgânico biodegradável) e biofertilizante (varia entre 10 a 30% do material orgânico biodegradável).

Segundo MIRANDA (1991), para instalação de biodigestores é preciso analisar, projetar e executar o sistema, de forma que permita a construção de instalações mais econômicas e com retorno financeiro de forma mais rápida. A possibilidade de criação de fontes energéticas alternativas de suprimento descentralizadas e em pequena escala é fundamental para o desenvolvimento sustentável. A utilização de fontes de energias renováveis que não demandam alta tecnologia para instalação, alto custo e mão de obra especializada para sua execução, são sistemas com alto enfoque, principalmente para produtores rurais, tendo em vista que pode diminuir sua dependência por energia elétrica (COLDEBELLA, 2006).

Observa-se que os sistemas de biodigestão anaeróbia e de aproveitamento do biogás, têm-se mostrado bastantes eficazes no tratamento de resíduos, tendo maior valorização dos produtos finais obtidos, além de minimizar a poluição do solo e água. Ainda, por reduzir a produção e liberação direta de gases de efeito estufa, pois eles são utilizados para produção de energia ou simplesmente queimados. No entanto, tal atividade ainda sofre certas resistências na utilização, por parte de produtores, tendo pouco crescimento da tecnologia comparado com países desenvolvidos.

2.2 Etapas da digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é vista como uma fermentação simples, realizada por dois grupos de bactérias, primeiro pelas acidogênicas, responsáveis pela transformação do glicérol, proteínas e carboidratos, em ácidos graxos de cadeia curta, como o ácido acético, propiônico e outros, álcoois, H_2O e CO_2 . Segundo pelas bactérias metanogênicas, que transformam estes produtos intermediários em gases, como CH_4 e CO_2 (PERES, 1982).

Na Figura 1 visualiza-se as etapas da digestão anaeróbia, ocorrendo basicamente em quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (CHERNICHARO, 2016).

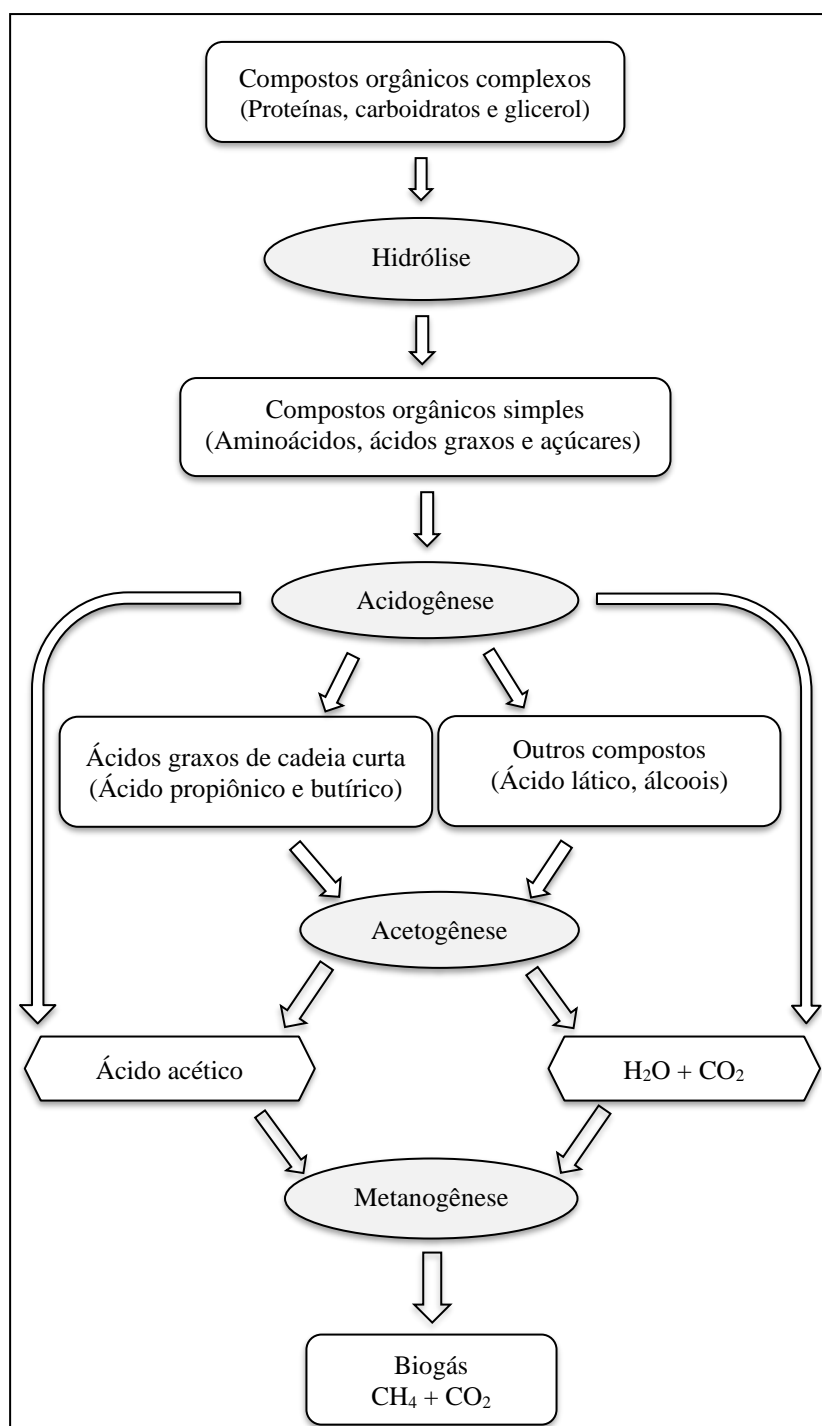


FIGURA 1. Diagrama do processo de digestão anaeróbia e ação dos microrganismos na degradação da matéria orgânica. Adaptado de FRIEHE et al. (2010) e CHERNICHARO (2016).

O processo da digestão anaeróbia envolve reações bioquímicas realizadas em basicamente em quatro estágios (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese), por diversos tipos de bactérias, em ambiente anaeróbico. As bactérias metanogênicas, que atuam na última etapa deste processo, são fundamentais pois são responsáveis pela formação do metano (LUCAS JR, 1994).

Na hidrólise, compostos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e outros) são reduzidos em compostos mais simples (CHERNICHARRO, 1997). Ocorrem de forma mais lenta na anaerobiose, pois diversos fatores afetam e alteram as taxas de hidrólise do material (LETTINGA et al, 1996).

Na acidogênese os produtos gerados da hidrólise são metabolizados e convertidos em principalmente em ácidos orgânicos de cadeia curta (AOCC). Além da produção dos AOCC, há a produção de álcoois, ácido láctico, CO₂, hidrogênio, entre outros.

Na acetogênese, os produtos oriundos da acidogênese são oxidados formando o substrato para as bactérias metanogênicas (hidrogênio, dióxido de carbono e acetato).

Na fase metanogênica, pela especificidade com que os microrganismos se utilizam do substrato, as arqueias formam dois grupos principais conhecidas como acetoclásticas (formam metano a partir do acetato) e hidrogenotróficas (produtoras de metano através do hidrogênio e dióxido de carbono) (CHERNICHARRO, 1997).

2.3 Fatores que influenciam a digestão anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia é realizado por um conjunto de bactérias, e desta forma a sua máxima eficiência depende de diversos fatores, condições e parâmetros. As principais condições que influenciam a digestão anaeróbia são: temperatura, pH e substratos utilizados (CHERNICHARRO, 2016; FRIEHE et al., 2010).

A temperatura é um dos principais fatores na digestão, estando diretamente relacionada com o processo de crescimento bacteriano, pois esses microrganismos não apresentam meios para o controle de sua temperatura interna (CHERNICHARRO, 2016). A temperatura de 35 a 37°C vem sendo bastante utilizada por pesquisadores em estudos de digestão anaeróbia, com intuito de avaliar a máxima eficiência dos microrganismos geradores de biogás com diversos tipos de resíduos, a exemplo os trabalhos de ÁLVAREZ et al., (2010), CUETOS et al., (2011) e CREMONEZ et al. (2014).

Quanto ao pH, a sua estabilização é de extrema relevância, pois se obtém elevadas taxas metanogênicas quando o pH se encontra numa faixa entre 6,0 a 8,0. Porém, valores inferiores a 6,0 e superiores a 8,3 precisam ser evitados, pois pode acabar inibindo, parcialmente ou completamente, a atividade das arqueias formadoras de metano (CHERNICHARRO, 2016). Já DEUBLEIN e STEINHAUSER (2008), em seus estudos, afirmam que o pH ideal para ação dos microrganismos e formação de metano é entre 6,7 e 7,5. De acordo com HENN (2005), a faixa ideal de pH dentro dos biodigestores é atingida automaticamente, sem a necessidade de adição de produtos para corrigir o pH, sendo que isto

ocorre devido a capacidade de tamponamento dos sistemas. Porém, em reatores que apresentam sobrecarga, tal processo não se aplica.

Além de pH e temperaturas em faixas ideais, há compostos essenciais para as arqueas metanogênicas, como o fósforo e o nitrogênio, sendo que a matéria prima deve conter quantidades suficientes desses nutrientes para suprir as necessidades das bactérias (SOUZA, 1984). De acordo com FRIEHE et al. (2010), é preciso que se tenha uma relação de carbono/nitrogênio (C/N) entre 20 a 30, e, segundo DEUBLEIN e STEINHAUSER (2008), essa relação deve ser de 16 a 25.

Outro fator importante é a utilização de inóculo (microrganismos provenientes do efluente de sistemas de digestão anaeróbia), podendo proporcionar em uma maior eficiência, pois há uma aceleração no início do processo de biodigestão, onde cabe se determinar a proporção mais adequada a ser adicionada nos reatores (STEIL, 2002).

A adição do inóculo proporciona em uma população de microrganismos já adaptados ao processo de digestão anaeróbia, aumentando a sua atividade, no qual pode antecipar o pico de produção de biogás, segundo XAVIER et al. (2010) e QUEIROZ (2003).

2.4 Abastecimento de digestores

O processo de digestão anaeróbia pode ser classificado pela forma como ocorre a alimentação do digestor anaeróbio. As três formas possíveis de abastecer o sistema são: a contínua, a semi-contínua e a descontínua (também denominada batelada) (SAGULA, 2017).

O sistema contínuo é caracterizado pela adição diária de matéria prima ao reator anaeróbio, tendo uma constante digestão dos resíduos e produção contínua de biogás (POSTEL et al. 2010). O semi-contínuo, o reabastecimento ocorre de tempos em tempos, porém, sendo de forma fracionada. O biodigestor tipo batelada (sistema descontínuo), é abastecido uma única vez e lacrado para manter as condições anaeróbias, e neste a produção de biogás diminui com o passar do tempo, cessando a digestão e produção do biogás. Após o encerramento da produção de gás, o efluente pode ser retirado do reator e utilizado o biofertilizante, conforme trabalhos de RABELO (2018) e SAGULA (2017).

2.5 Características do biogás

A composição dos gases gerados pela biodigestão varia de acordo com o tipo e a quantidade de matéria prima utilizada, fatores climáticos, temperatura, tamanho e capacidade do biodigestor. Em condições ambientais favoráveis para a degradação do material orgânico, com máxima eficiência dos microrganismos, o biogás se apresenta com diversos gases, onde dois se destacam em maiores quantidades, sendo que cerca de 60 a 65% do volume total é

CH₄, e 35 a 40% do volume total é CO₂. Além destes, outros gases presentes somam aproximadamente 1% do volume total (SEIXAS et al., 1980).

Segundo COMASTRI, (1981) o biogás é composto por diversos gases, sendo que dois deles ocorrem em maior quantidade, o gás metano (CH₄) que é incolor e altamente combustível, com cerca de 60 a 70% do volume e o pelo gás carbônico (CO₂), com cerca de 40 a 30% do volume, além de outros gases como o gás sulfídrico (H₂S), nitrogênio (N₂) e hidrogênio (H₂), porém, em menores quantidades.

2.6 Uso do esterco ovino em biodigestão

O Brasil possui um rebanho ovino com mais de 18 milhões de cabeças, segundo dados do IBGE (2017). A maior parte do rebanho está no Nordeste, com 64,2% do total. A criação dessas espécies possui grande importância econômica e social no Nordeste, onde é possível observar aumento do efetivo nos últimos anos. Este contingente apareceu em maior número na Bahia, que concentrou 20,9% do rebanho de ovinos no Brasil, com elevado aumento entre os anos de 2014 a 2017 (IBGE, 2017).

A produção de ovinos é predominantemente realizada em pequenas propriedades, com presença de pequenos rebanhos e caracterizadas pela agricultura familiar. Além da sua criação estar em conjunto com diversos outros animais, apresenta-se em sistemas de baixa intensificação e com pouco uso de tecnologia.

ORRICO et al. (2007) testou em seus estudos de digestão anaeróbia, o uso de dejetos caprinos com diferentes tipos de dietas, variando as proporções de concentrado e volumoso, com animais de diferentes idades. O substrato utilizado com dejetos oriundos da dieta com maior porcentagem de concentrado foi a que apresentou maior redução (45%) nos teores de sólidos voláteis (SV), e também apresentou maior produção de biogás, equivalente a 0,0302 m³/kg de esterco, 0,2341 m³/kg de ST adicionado e 0,2680 m³/kg de SV adicionado.

QUADROS et al. (2010) realizou estudos de degradação anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos, monitorado os parâmetros bioquímicos, microbiológicos e parasitários do afluente e efluente, sendo avaliado a produção e a composição do biogás, além da utilização do biofertilizante em capim-elefante. A produção de biogás medida foi de 0,061 m³/kg de esterco, composto por 58% de metano e 34% gás carbônico. O biofertilizante ficou numa faixa de pH 7,5 com boa fonte de nutrientes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e tratamentos

O experimento foi realizado no Laboratório de Instalações Agropecuárias e Ambiente (LIAA), localizado na Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária na Universidade de Brasília, tendo duração de 70 dias, compreendido entre 23/04/19 a 02/07/19. Ao longo do experimento, foram realizadas 30 leituras de pH, 30 leituras de CE, 32 leituras para ST e SF (SV calculado), 110 leituras de produção de biogás e 29 análises da qualidade do biogás.

Para realização desse experimento foram utilizados computadores e os equipamentos necessários para a realização da pesquisa, como balança, estufa, pHmetro, condutivímetro, kit biogás com reagentes e vidrarias. Para determinação de sólidos fixos e voláteis foi utilizada a mufla do Laboratório de Nutrição Animal (LNA) da Fazenda Água Limpa (FAL)/UnB.

O sistema foi constituído por 4 biorreatores, sendo que cada um continha 2.000 mL de volume total e 1.000 mL de volume útil, compostos pelos tratamentos e o controle. O esterco ovino utilizado foi misturado com diferentes proporções de inóculo, nas relações de 10%, 20% e 30% em volume.

O inóculo utilizado são microrganismos provenientes de biodigestor semi-contínuo, alimentados uma vez por semana com esterco bovino.

Os tratamentos e o controle foram compostos de:

- Tratamento 1 – inóculo (10%) + esterco ovino + água (I10+EO+A);
- Tratamento 2 – inóculo (20%) + esterco ovino + água (I20+EO+A);
- Tratamento 3 – inóculo (30%) + esterco ovino + água (I30+EO+A);
- Controle - inóculo (I).

Os biorreatores foram mantidos em banho maria a temperatura de 37°C, e conectados por mangueiras ao gasômetro, composto por tubos de PVC. A produção de biogás foi medida junto ao gasômetro a partir do deslocamento do tubo de menor diâmetro para cima, medição feita em régua graduada, em relação ao nível da solução do tubo maior (base do gasômetro). Este foi calculado em função da área interna do tubo e da pressão interna nos gasômetros, que foram medidos com o uso de manômetros em U de coluna de água, com posterior correção para as condições normais de temperatura e pressão (1 atm e 20°C).

O esterco ovino utilizado para o abastecimento dos biodigestores foi coletado em esterqueira após a retirada dos estábulos, no Centro de Manejo de Ovinos – CMO da Fazenda Água Limpa – FAL/UnB, e foi colocado em frascos de vidro e fechados, sendo posteriormente acondicionado em geladeira com temperatura próxima de 4°C, tendo sido armazenada por 24 horas, até o início da montagem do experimento. Foram retiradas amostras de esterco e inóculo para determinação de matéria seca e demais parâmetros.

Para a composição quantitativa dos tratamentos, tendo como base os sólidos totais entre 7 e 9 % na mistura, conforme recomendado por COMASTRI (1981) e utilizado por LUCAS JR (1994) e AMARAL et al., (2004), foram retiradas amostras para determinação prévia de teores de sólido total do esterco e do inóculo. Posteriormente, levando-se em consideração a utilização do volume de inóculo nos biorreatores de 10%, 20% e 30%, calculou-se a quantidade de matéria fresca de esterco a ser utilizada em cada um dos tratamentos, sendo completado com água destilada, totalizando 1000 mL de volume útil.

Foram realizadas análises de potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE) de cada tratamento, tendo 3 repetições; sólidos totais, fixos e voláteis com 6 repetições para a matéria prima e 5 repetições para os efluentes; e também determinada a qualidade do biogás.

Na Figura 2 detalha-se o sistema utilizado no ensaio.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2: (a) biodigestor tipo batelada; (b) gasômetro; (c) biorreatores em banho maria; (d) manômetro de coluna d'água em formato de U.

3.2 Sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV)

O método utilizado para determinar os valores dos ST, SV e SF foi o método gravimétrico, conforme recomendações descritas pela APHA (2012), norma 2540, sendo que o valor de SV foi obtido pela diferença entre os ST e os SF.

As amostras utilizadas na determinação dos teores de sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis foram dispostas em cadinhos de porcelana (secados anteriormente na estufa de 105° C), onde foram devidamente identificadas e pesadas, e, posteriormente, levadas à estufa com temperatura de 105°C, até atingirem peso constante. Logo após, as amostras foram resfriadas em dessecador e pesadas em balança com precisão de 0,01 g, obtendo o peso da matéria seca. Para a determinação do teor de sólidos fixos e voláteis, os materiais secos obtidos após a determinação do teor de sólidos totais foram levados a mufla a

temperatura de 550°C, durante o período de 4 horas e, após seu resfriamento em dessecador, os materiais foram pesados em balança com precisão de 0,0001 g, para se obter o peso de cinzas, determinando-se os sólidos fixos. Assim, o teor de sólidos voláteis foi determinado por diferença.

TABELA 1. Composição quantitativa dos tratamentos

Trat 1 - I10+EO+A				
Variáveis	Inóculo (g)	Esterco ovino (g)	Água (g)	Total (g)
Matéria fresca utilizada (g)	100	245,32	654,68	1000,0
Matéria seca (g)	1,81	80,96	0	82,77
ST calculado (%)		8,28		8,28
ST ad (g)		80,96		
SV ad (g)		66,80		
Trat 2 - I20+EO+A				
Variáveis	Inóculo (g)	Esterco ovino (g)	Água (g)	Total (g)
Matéria fresca utilizada (g)	200	240,16	559,84	1000,0
Matéria seca (g)	3,62	79,25	0	82,87
ST calculado (%)		8,29		8,29
ST ad (g)		79,25		
SV ad (g)		65,39		
Trat 3 - I30+EO+A				
Variáveis	Inóculo (g)	Esterco ovino (g)	Água (g)	Total (g)
Matéria fresca utilizada (g)	300	239,16	460,84	1000,0
Matéria seca (g)	5,43	78,92	0	84,35
ST calculado (%)		8,44		8,44
ST ad (g)		78,92		
SV ad (g)		65,12		
Trat 4 - Controle (I)				
Variáveis	Inóculo (g)	Esterco ovino (g)	Água (g)	Total (g)
Matéria fresca utilizada (g)	1000	0	0	1000,0
Matéria seca (g)	18,1	0	0	18,1
ST calculado (%)		1,81		1,81
ST ad (g)		0,00		
SV ad (g)		0,00		

ST = sólido total; ST ad = sólido total adicionado; SVad = sólido volátil adicionado.

3.3 Potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE)

A medição de pH e condutividade foram feitas segundo a metodologia descrita por APHA (2012), usando a norma 4500-H⁺. Utilizou-se um potenciômetro de bancada do fabricante ALFAKIT, modelo pHmetroPG2000. A amostra de esterco foi diluída em água destilada na proporção 1:10 (m/v). Para as amostras de efluentes e inóculo foram feitas leituras diretas.

Para a medição de condutividade, utilizou-se um condutivímetro microprocessado de bancada do fabricante TECNAL. A amostra do esterco foi diluída em água destilada na proporção 1:10 (m/v). Para as amostras de efluentes e inóculo foram feitas leituras diretas.

3.4 Análise da produção do biogás

Ao longo do experimento, para determinação da produção do biogás foram feitas medições em intervalos de 2 a 3 dias, durante todo o experimento, fazendo leituras de temperatura, pressão, volume e deslocamento do gasômetro, a fim de se realizar o monitoramento e a quantificação da produção de biogás.

3.5 Análise da qualidade do biogás

Para análise da qualidade do biogás utilizou-se o kit de análise de biogás, da marca ALFAKIT, conforme metodologia apresentada por KUNZ et al. (2007). Foram avaliados os teores de metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2). As amostras foram coletadas entre períodos que variaram entre 4 a 10 dias, durante todo o período experimental.

Antes de coletar o gás para analisar a qualidade, foi realizado o teste de fogo, onde verificava-se a queima ou não do biogás proveniente dos biodigestores em batelada, detectando assim a presença do metano em quantidade suficiente para manter a chama acesa. Posteriormente, após confirmada a presença de metano em quantidades suficientes para manter uma chama, coletava-se o gás em saco plástico específico para análise.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaios e composição quantitativa dos tratamentos

Na Tabela 1 são apresentados os resultados médios para a caracterização da matéria prima utilizada na montagem do experimento.

TABELA 2. Caracterização da matéria prima utilizada

Variáveis	Esterco Ovino (EO)	Inoculo (I)	Água (A)
ST (%)	32,00	1,81	----
SF (% MF)	5,77	0,36	----
SF (% ST)	17,48	20,13	----
SV (% MF)	27,23	1,45	----
SV (% ST)	82,52	79,87	----
pH	8,49*	7,22	8,65
CE (µS/cm)	4.720* (51.920**)	4.620	4,96

* diluição de 10 gramas de esterco em 100 mL de água destilada (1:10 m/v); ** valor calculado como sendo o da matéria prima bruta, sem diluição (valor original).

O teor de ST de 32% foi relativamente próximo aos valores encontrados em estudos feitos com esterco caprino por ORRICO et al. (2007), onde apresentaram teores de ST entre 22,3 a 30,8%, com o uso de diferentes tipos de dietas.

Na Tabela 2 apresenta-se a composição quantitativa dos tratamentos, com base em massa de matéria fresca utilizada e na matéria seca, e os resultados dos sólidos totais (ST), sólidos totais adicionados (ST ad) e sólidos voláteis adicionados (SV ad).

Estes resultados demonstram que os teores de sólidos totais observados nos 3 tratamentos estão próximos de 8%, seguindo recomendação de COMASTRI (1981). Em experimentos com biodigestores do tipo batelada, XAVIER et al. (2010) citam valores entre 7 a 9% de sólidos totais, considerando este próximo daqueles recomendados para este tipo de biodigestor.

Os teores de sólidos totais dos dejetos variam em função dos alimentos e da quantidade de água consumida pelos animais, além de outros fatores ligados aos animais, no entanto, no momento do abastecimento de biodigestores, é importante considerar os valores de sólidos totais e sólidos voláteis, pois são estes os precursores do metano, dióxido de carbono e ácidos voláteis na biodigestão anaeróbia (XAVIER et al. 2010).

4.2 Resultados da caracterização dos tratamentos e do controle

Na Tabela 3 são apresentados os resultados comparativos das análises que foram feitas dos afluentes e efluentes de cada tratamento e do controle.

TABELA 3. Resultado das análises dos afluentes (Af) e efluentes (Ef) dos tratamentos e do controle

Variáveis	Trat 1 - I10+EO+A		Trat 2 – I20+EO+A		Trat 3 – I30+E+A		Controle (I)	
	Af	Ef	Af	Ef	Af	Ef	Af	Ef
ST (%)	8,28*	6,26	8,29*	6,68	8,44*	6,52	1,81	1,12
SF (%MF)	1,45*	1,61	1,46*	1,78	1,49*	1,78	0,36	0,32
SF (% ST)	17,51*	25,74	17,61*	26,60	17,65*	27,33	19,89	28,71
SV (% MF)	6,82*	4,65	6,83*	4,90	6,95*	4,74	1,45	0,80
SV (% ST)	82,49*	74,26	82,39*	73,40	82,35*	72,67	79,89	71,29
pH	8,14	7,27	8,01	7,35	8,01	7,39	7,22	7,16
CE(μS/cm)	12.590	13.840	13.980	15.820	15.620	16.960	4.620	4.980

Af = afluente; Ef = efluente; * = calculados a partir dos dados da matéria prima utilizada.

Após o processo de biodigestão em todos os tratamentos, pode-se observar que houve redução nos teores de sólidos totais e de sólidos voláteis. Nos tratamentos 1, 2 e 3 as reduções de sólidos totais (ST) foram de 24,40%, 19,42 e 22,75%, respectivamente. Já o controle teve redução de 38,12%, sendo que essa redução expressiva pode ter ocorrido pelo fato do biorreator conter apenas inóculo, e que nas condições apresentadas no experimento fez com que os teores de sólidos totais sofressem uma redução mais elevada.

As reduções de sólidos voláteis (SV) foram de 31,82%, 28,26% e 31,80% para os tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente. Estes resultados são próximos aos encontrados em estudos de avaliação da digestão anaeróbia de dejetos de caprinos em biodigestores modelo batelada, adotando tempo de permanência entre 12 e 20 semanas, nas diferentes estações do ano, onde observou-se redução de 36% de SV do efluente em relação ao afluente (AMORIM et al., 2004).

Em relação ao pH pode-se observar que os valores tenderam a neutralização. Segundo FRIEHE et al. (2010), os resultados esperados em condições normais da digestão anaeróbia são de neutralização devido ao efeito tampão do carbonato e da amônia. Esses resultados foram parecidos com valores obtidos nos estudos com resíduos de suínos, feitos por FREGOSO et al. (2001), onde foi analisado o pH do afluente igual 7,6 e efluente igual a 7,05. SAGULA (2012), avaliou na biodigestão anaeróbia da cama de frango em co-digestão com caldo de cana, valores de pH entre 8,9 e 9,12 no afluente e 8,81 e 8,86 no efluente.

De acordo com QUADROS (2010), mudanças no pH acabam afetando as bactérias

anaeróbias envolvidas no processo de digestão, sendo 6,0 a 8,0 a faixa de pH nos biodigestores, tendo como ponto ideal o pH 7,0. Já SILVA (1983), cita a faixa ideal de pH para produção normal de biogás entre 7,0 e 8,0.

Para a condutividade elétrica (CE), observa-se que em todos os tratamentos os valores dos efluentes (Ef) se sobressaíram em relação aos afluentes (Af). Em estudos de biodigestão anaeróbia realizados com a utilização de vinhaça, SILVA et al. (2012) obteve nos resultados de condutividade elétrica, valores maiores nos efluente em relação ao afluente. Segundo esses autores, a condutividade elétrica está relacionada com a quantidade de íons dissolvidos na solução e o seu aumento é devido à transformação de compostos complexos em materiais mais simples.

4.3 Volume de biogás produzido

No Gráfico 1 são apresentados os resultados da produção de biogás, analisados a partir dos sólidos totais adicionados (ST ad).

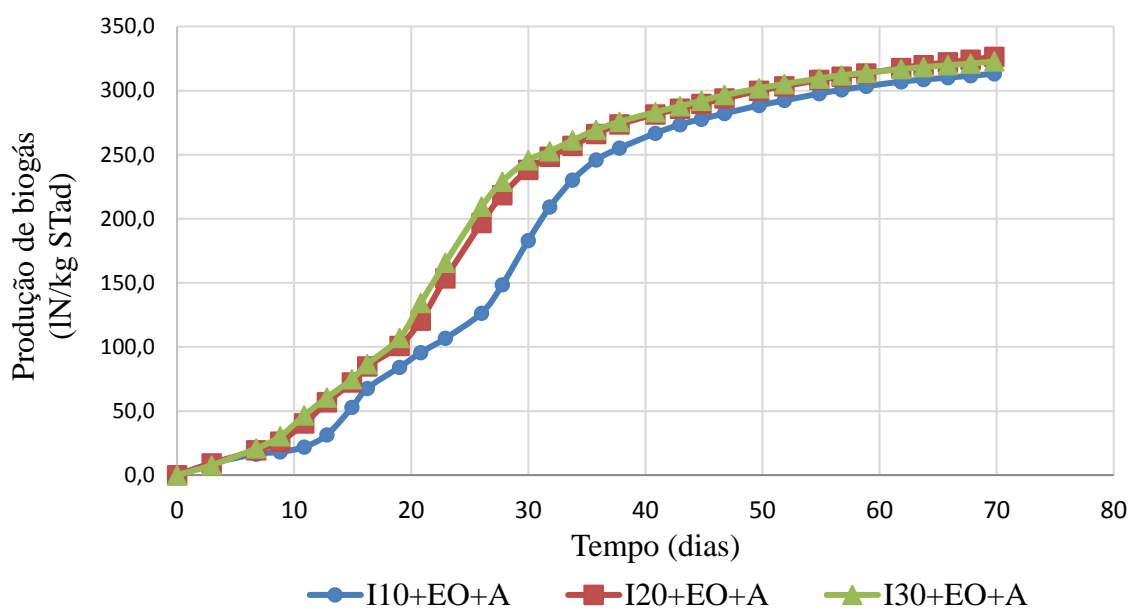


GRÁFICO 1. Produção de biogás em IN/kg STad.

Segundo ORRICO et al. (2016), no processo de digestão anaeróbia, as reduções dos teores de sólidos totais e sólidos voláteis estão diretamente relacionadas com o uso dos compostos orgânicos pelos microrganismos na degradação da matéria orgânica, para a produção de biogás. De acordo com AMARAL et al. (2004), a melhor forma de analisar o potencial de determinado substrato é aquela que expressa a produção de biogás por kg de sólido total adicionado, pois assim não há interferência da água presente no substrato.

Deste modo, pode-se observar que a produção de biogás nos tratamentos 1, 2 e 3 apresentou resultados bastante próximos, devido a semelhança entre as quantidades de sólidos totais e voláteis adicionados nos tratamentos.

A produção total de biogás obtida foi de 313,1; 326,4 e 322,7 l_N/kg ST adicionado para os tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente. Em relação aos sólidos voláteis, a produção total de biogás foi de 379,5; 395,6 e 391,1 l_N/kg SV adicionado para os tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente.

Em estudos com dejetos de caprinos AMORIM et al. (2004) avaliaram a produção de biogás nas diferentes estações do ano. Obtiveram produção de 1,06 m³ no verão, 0,88 m³ no outono, 0,88 m³ no inverno e 0,99 m³ na primavera, e os potenciais de produção médios foram de 0,02 m³ de biogás/kg de substrato e 0,2 m³ de biogás/kg de esterco para todas as estações.

QUADROS et al. (2010) realizaram estudos de degradação anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos, obtendo produção média de biogás de 0,061 m³/kg de esterco ou 0,003 m³/kg de substrato.

Fato importante a ser considerado neste trabalho foi o pico de produção de biogás nos tratamentos com 20 e 30% de inóculo, onde houve maior rapidez no processo. Desta maneira, o processo de biodigestão anaeróbia com adição de 20 e 30% de inóculo demonstrou ser uma alternativa eficiente para o tratamento de dejetos de ovinos, pois permitiu maior velocidade de partida em relação à biodigestão com 10% de inoculo.

4.4 Qualidade do biogás produzido

No Gráfico 2 são apresentadas as concentrações de metano (CH₄) medidos ao longo do experimento.

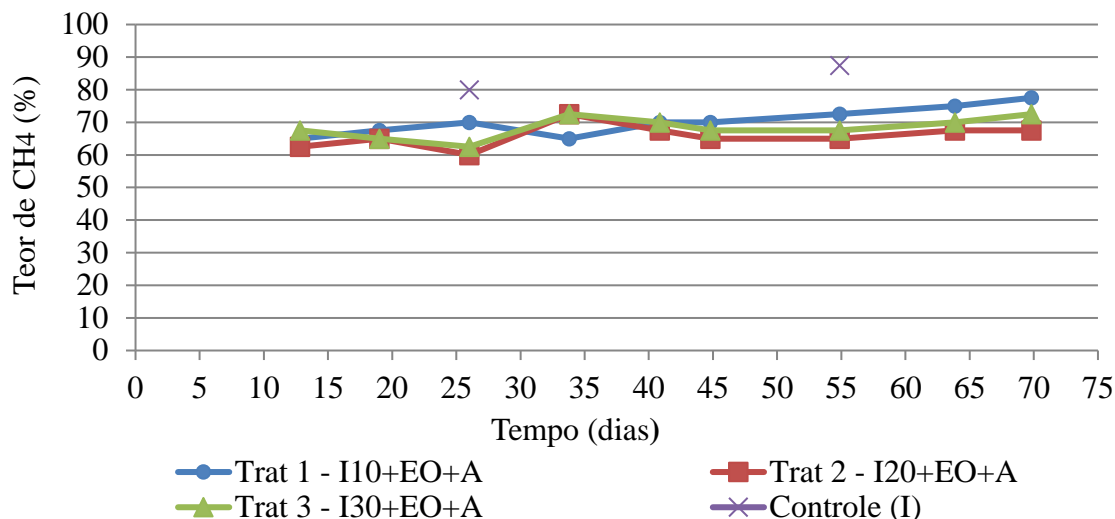


GRÁFICO 2. Teores de metano (CH_4).

Nos tratamentos observa-se um comportamento bastante semelhante entre eles, tendo o tratamento 1, porcentagens um pouco maiores de metano no biogás que os outros tratamentos, ao longo do experimento. Tais comportamentos mostraram que no final do processo, o teor de metano ficou próximo de 70% nos tratamentos 2 e 3, e próximo de 80% no tratamento 1. Resultados parecidos com os obtidos por AMORIM et al. (2004), onde os teores de CH_4 no biogás foram de 88,3; 84,6; 80,6 e 79,2%, para o verão, outono, inverno e primavera, respectivamente. Já QUADROS et al. (2010) em experimento com esterco de ovino e caprino, obtiveram valores médios de 58% de metano e 34% de gás carbônico na composição do biogás.

De acordo com FRIEHE et al. (2010), a faixa ideal para a composição do biogás em teores de metano varia entre 50 e 75% do volume.

O controle apresentou teores de CH_4 em torno de 80%, sendo este um alto valor. Isto pode ter ocorrido pelo fato do biorreator conter apenas inóculo, sendo este um material com alto percentual de degradação e estabilidade, conforme citado por LUCAS JR (1994) e ORRICO JR et al. (2010).

5. CONCLUSÕES

A produção final de biogás, nos diferentes tratamentos, não apresentou diferença expressiva com a variação da quantidade de inóculo nos biorreatores.

Observou-se uma mudança no comportamento na curva de produção de biogás, sendo que os tratamentos com 20 e 30% de inóculo tiveram um pico de produção mais rápido que o tratamento com 10 % de inóculo.

Portanto, a utilização de 20 e 30% de inóculo demonstraram ser uma alternativa eficiente para o tratamento de dejetos de ovinos, tendo em vista que, proporcionaram maior velocidade de partida em comparação a utilização de 10% de inoculo.

Todos os tratamentos apresentaram boas porcentagens de metano no biogás, variando entre 60 a 80% ao longo do experimento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, J. A.; OTERO, L.; LEMA, J. M. A methodology for optimising feed composition for anaerobic co-digestion of agro-industrial wastes. **Bioresource Technology**, Santiago de Compostela, n.101 p. 1153–1158, 2010.
- AMARAL, C. M. C.; AMARAL, L. A.; LUCAS JR, J.; NASCIMENTO, A. A.; FERREIRA, D. S.; MACHADO, M. R. F. Digestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1897-1902, 2004.
- AMORIM, A. C.; LUCAS JR, J.; RESENDE, K. T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. **Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal**. vol.24 n.1, 2004.
- APHA; AWWA; WEF. **American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. Standard Methods a for the examination of water and wastewater**. 22 ed., Washington, D.C, USA. 2012.
- ARRUDA, V. C. M. **Tratamento anaeróbio de efluentes gerados em matadouros de bovinos**. Recife - PE. Universidade Federal de Pernambuco, 2004, 127 f. Dissertação Mestrado.
- CHERNICHARO C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997, 246 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 5).
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG), 2016. 379p.
- COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. Dissertação. 2006. 73 f. (Mestrado em Engenharia Agrícola / Engenharia de Sistemas Agroindustriais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.
- COMASTRI, J. A. F. **Biogás. Independência energética do Pantanal Mato-Grossense**. Circular Técnica nº 9. Outubro, 1981. EMBRAPA. Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Corumbá. Corumbá – Mato Grosso do Sul. <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37692/1/CT09.pdf>> Acesso em 08/10/2019.
- CREMONEZ, P.A.; ROSSI, E.; FEROLDI, M.; TELEKEN, J.G. Codigestão de água residual de suinocultura e vinhaça sob diferentes condições térmicas. **Revista de Ciências Agrárias**, 38, p. 103-110, 2014.
- CUETOS, M. J.; FERNANDEZ, C.; GÓMEZ, X.; MORAN, A. Anaerobic Co-digestion of Swine Manure with Energy Crop Residues. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, n.16 p.1044-1052, 2011.
- DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogás from waste and renewable resources. An introduction**. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008.
- FREGOSO, M. J. S.; CERRATO, R. F.; BARRA, J. E.; GONZÁLEZ, G. A.; SANTOS, J. T.; GÓMEZ, L. B.; PÉREZ, G. P. **Producción de biofertilizantes mediante biodigestion de excreta liquida de cerdo**. Terra, v.19, n.4, p.253-362, 2001.
- FRIEHE, J.; WEILAND, P.; SCHATAUER, A. Descrição de substratos selecionados. In: ROHSTOFFE, F.N. (Ed). **Guia prático do biogás – geração e utilização**. Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha. 2010. p. 74 -84.

FRIEHE, J.; WEILAND, P.; SCHATAUER, A. Fundamentos da fermentação anaeróbia. In: ROHSTOFFE, F.N. (Ed). **Guia prático do biogás – geração e utilização**. Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha. 2010. p. 20 -30.

HENN, A. **Avaliação de dois sistemas de manejo de dejetos em uma pequena propriedade produtora de suínos – condição de partida**. Florianópolis-SC. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 157 f. Dissertação Mestrado.

IBGE. **Produção Pecuária Municipal**. Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em 16/10/2009.

KUNZ, A; OLIVEIRA, L; PICCININ, L; S. **Manual de Análise do Biogás**. Florianópolis: Alfakit, 2007.

LETTINGA, G.; HULSHOF POL, L. W. ZEEMAN, G. **Biological wastewater treatment** Part 1: Anaerobic wastewater treatment. Lecture notes. Wageningen Agricultural University, ed. January, 1996.

LIMA JR, S. R.; PAES, J. L.; ALVEZ, T. B. S. Efeito da adição de inóculo no processo de biodigestão anaeróbica de dejetos de bovino. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018. **Anais**. Gramado – RS.

LUCAS JR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 1994. 113f. Tese (Livre docência) – Faculdade de Ciências agrárias e veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

LUCAS JR., J. **Geração e Utilização de Biogás em Unidades de Produção de Suínos**. Junho, 2006. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58216/1/doc115.pdf>. Acesso em: 08/10/2019.

MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás: um projeto de saneamento urbano**. São Paulo: Nobel, 1986. 120 p.

MIRANDA, H. A. **Influência da recirculação de efluentes e do tempo de retenção no desempenho de biodigestores operados com estrume de suínos**. 1991. 137 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1991.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão, a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1992. 93p.

OLIVEIRA, E. L.; RODRIGUES, G. de S.; SANTIAGO, L. B.; SOUZA, H. A. **Compostagem de resíduos da produção e abate de pequenos ruminantes**. (<https://www.embrapa.br/caprinos-caatinga-compostagem>). EMBRAPA, Sobral – CE. Acesso em 22/10/2019.

ORRICO, A. C. A.; LUCAS JR, J.; ORRICO JR, M. A. P. Caracterização e biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.3, p. 639-647, 2007.

ORRICO, A. C. A., LOPES, W. R. T., MANARELLI, D. M., ORRICO JR, M. A. P., SUNADA, N. S. Efeito da adição de inóculo no processo de biodigestão anaeróbica de dejetos bovino. **Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.36, n.3, p.537-545, maio./jun. 2016.

ORRICO JR, M.A.P., ORRICO, A.C.A., LUCAS JR, J. Influência da relação volumoso: concentrado e do tempo de retenção hidráulica sob a biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos. **Revista de Engenharia Agrícola**, vol. 30, n. 3, p. 386-394, 2010.

- PERES, C. S. **Microbiologia da digestão anaeróbia**. In: **simpósio nacional de fermentação**, 5, 1982. Viçosa: São Paulo: IPT, 1982, 40p.
- POSTEL, J.; JUNG, U.; FISCHER, EL.; SCHOLWIN, F.; WEIDEL, T.; GATTERMANN, H.; SCHATTAUBER, A.; WEILAND, P. **Tecnologia de usinas para a produção de biogás**. 2010.
- QUADROS, D.G., OLIVER, A. P.M., REGIS, U., VALLADARES, R., SOUZA, P.H.F., FERREIRA, E. J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 14, n. 3, pp. 326-332, 2010.
- QUADROS, D. G.; VALLADARES, R.; REGIS, U. **Aproveitamento dos dejetos de caprinos e ovinos na geração de energia renovável do meio ambiente**. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Produção Animal - Universidade do Estado da Bahia, 2007.
- QUEIROZ, S. C. **Modelagem da produção acumulada de biogás em biodigestores tipo batelada segundo a porcentagem de inóculo adicionada utilizando os modelos de regressão não -linear de Gompertz e exponencial**. Botucatu - SP. Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 2003. 129 f. Tese de Doutorado.
- RABELO, E. A. **Palhas de milho e de feijão como co-substratos na digestão anaeróbia de esterco bovino leiteiro**. Brasília – DF. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2018. 56f. Dissertação de Mestrado.
- SAGULA, A. L. **Biodigestão anaeróbia da fração líquida da cama de frango triturada e peneirada: efeito da diluição e do uso de reciclo**. Botucatu - SP. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. 2017. 61 f. Tese de doutorado.
- SAGULA, A. L. **Biodigestão anaeróbia da cama de frango em co-digestão com caldo de cana**. Botucatu - SP. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. 2012. 56 f. Dissertação de mestrado.
- SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MACHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília: Embrapa-DID, Embrapa-CPAC, 1980. p. 60. (Circular Técnica, 4).
- SILVA, N.A. Manual de biodigestor: modelo chinês. 2.ed. Brasília: EMATER, 1983. 90 p. (Manual, 26).
- SILVA, W.T.S., NOVAES, A.P., KUROKI, V., MARTELLI, L.F.A., MAGNONI JR., L. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. **Química Nova**, vol. 35, n. 1, p. 35-40, 2012.
- SOUZA, M. E. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. **Revista DAE**, 44, p. 88-94, 1984.
- STEIL, L., LUCAS JR, J., OLIVEIRA, R.A. Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos. **Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 2, p. 146-159, Jaboticabal, 2002.
- XAVIER, C. A. N.; LUCAS JR, J. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 212-223, 2010.